不同沈下とその対応方法について

平成 23 年 5 月

はじめに

本報告書は、主に、地震等によって不同沈下した建物の状況について、いくつかのパターンによって分類し、それぞれの修復工法等を紹介するものです。

一般的に地盤沈下は地盤自身の問題として建築物の有無に関係なく沈下する事を言いますが、不同沈下は建物を建てた事により沈下する現象を言います。
不同沈下が起こる原因としては、液状化等が想定される軟弱地盤、盛切土や擁壁周辺、異種基礎等ですが、主として不同沈下が顕在化するのは、深度 5 以上の地震が起きた時です。

社団法人日本建築学会や財団法人日本建築防災協会等が不同沈下における障害について指針等を公表しており、本報告書はこれらの指針等を基準として改修工事等の必要の有無の判定や修復工事の工法を説明致します。

但し、地震で被災した建物は、それぞれ異なった地盤、基礎、構造、規模等であり、一概にパターン化する事は出来ません。また、技術者の診断により異なった見解がなされる場合もあります。そのため本報告書は、社団法人日本建築学会が指針として公表している小規模建築物基礎設計指針並びに建築基礎構造設計指針に準拠した形で解説を行ないます。
そのため、本報告に記載されている内容は、全ての個々の事例に当てはまるものではないため、本報告書の内容を何等保証するものではありません。あくまでも参考資料としてお使いください。本報告によって、如何なる損害が発生した場合でも、当社では何等その責を負いません。

本診断書は建設会社との工法選定や管理会社や精密診断等を行なう診断会社との話し合い等においても、専門用語に惑わされる事なく、適切な判断が行なえるように、出来る限り平易な言葉や図表を使って解説しています。別添の「耐診断及び耐震工事に関する用語辞典」「地盤調査と基礎等について」もお手元に置いて頂き、適切な工事を円滑に進めて頂く上での一助になれば何よりの幸いです。

平成 23 年 6 月

目次

1. 不同沈下とは・・4

2. 不同沈下が起きやすい地盤・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5

3. 不同沈下時の沈下形状と変形角について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6

4. 杭基礎における被災と基礎の変形角について・・・・・・・・・・・・・・・・・10

5. 不同沈下の確認方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12

6. 基礎修復の判断と施工方法の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13

7. 物件の調査事例・・14

8. 基礎修復工法の種類と選定基準・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18

9. 基礎躯体修復工法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19

10. 沈下修正工法・・23

11. 施工業者の選定方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25

1. 不同沈下とは

不同沈下とは建物全体が同一な沈下をせずに、ある面が沈下を起こすなど、不均等に沈むことを言います。不同沈下がある一定量を超えると、建物の基礎、壁、梁等にひび割れの発生、ドアや建具、サッシュの開閉不良や、建物の傾斜等の問題が起こります。

不同沈下には傾斜角の発生に伴い使用性や機能性が問題となる沈下形状（建物全体が傾斜）と傾斜角とともに変形角の発生に伴い、ひび割れなどの構造上の問題が生じる場合（建物の部分的変形による部分的な傾斜）の沈下形状に区分されます。不同沈下が起きると本来水平、垂直を保っていなければならない建物の構造を支える部材が、平行四辺形や台形に歪み、1ヶ所に荷重が集中するため、建物に大きなダメージを与えます。

不同沈下の原因としては以下の場合が考えられます。

◆不同沈下の主な発生原因

① 不均一に堆積した軟弱地盤上に建築したことによる沈下
② 盛土による沈下（土の荷重による不同沈下）
③ 傭壁の変位や埋め戻し不良などに伴う背面地盤の変位と沈下（傭壁等の変位）
④ 建物を建てたことで沈下（建物荷重による不同沈下）
⑤ 丘陵地における硬質層の傾斜地（傾斜地盤による不同沈下）
⑥ 切土、埋土などの異質地盤（異質地盤による不同沈下）
⑦ 軟弱な地盤（厚密沈下）
⑧ バランスの悪い重い建築物（建築荷重の偏り）
⑨ 異種基礎（異なった基礎の設計）
⑩ 設計不良（工法の選定ミスや軟弱層厚が不均一な場合の杭長不足など）
⑪ 施工不良（改良体の支持力不足や腐食土層などによる未固化、基礎の施工不良など）
⑫ 近接工事（土留め変形や矢板引抜、地下水位の変化、敷地近接地の盛土や建物荷重）
⑬ 地震による不同沈下

上記①～⑫における潜在的な問題がある場合に建物は、時間が経過すると共に不同沈下が顕在化する場合と東日本大震災のような大地震（⑬）による揺れにより、不同沈下が顕在化する場合があります。

２．不同沈下が起きやすい地盤

日本建築学会が「小規模建築物基礎設計指針※」で示している不同沈下が発生する可能性が高い地盤は、高有機質土（腐食土）などが堆積する地盤若しくは地層が傾斜また土の締まり具合が不均一な地盤などです。

表１【SWS 試験において不同沈下が発生しやすい地盤】

地形地盤	値等
沖積層（過圧密地盤を除く）	SWS 試験において *Wsw* が 0.75kN 程度以下 標準貫入試験で N 値が 0 程度、含水比 *w* が 100%程度以上の地盤
盛土地盤	SWS 試験において *Wsw* が 1kN 程度の地盤 傭壁などの埋戻し土（一部盛土）などで、SWS 試験において平均 *Nsw* が 40 程度以下の地盤

※1 「*Wsw*」とは貫入において必要な最低荷重

※2 「*Nsw*」とは 1kN の荷重で貫入が止まった後、回転により所定の目盛まで貫入させた時の半回転数から換算した貫入量 1m あたりの半回転数

不同沈下が万一、発生していた場合には、「1．不同沈下とは」の不同沈下の主な発生原因に掲げた内容の様に、建築物の表面的な損傷によるものばかりではないので、不同沈下による損傷とその程度を適正に把握することが重要であり、そのうえで不同沈下の原因を究明することが必要になります。

※小規模建築物基礎設計指針でいう小規模建築物とは「地上 3 階以下」「建物高さ 13m 以下」「軒高 9m 以下」「延べ面積 500 ㎡以下」の 4 つの条件を満たす建築物を言います。

3. 不同沈下時の沈下形状と変形角について

◆不同沈下時の沈下形状

不同沈下時の沈下形状は大別すると、全体的に傾斜する「一体傾斜」と部分的に傾斜する「変形傾斜」に大別されます。また変形傾斜には「V 字型」「への字型」「ジグザグ型」があります。変形傾斜の場合、中規模以上の建築物では「V 字型」の沈下症状が多く、地震の影響を受けやすい小規模建築物の場合は「への字型」の沈下形状を示す場合が多いのが特徴です。ジグザク型とは変形傾斜が複数個所ある場合を指します。

図 1【主な建物の沈下の種類】

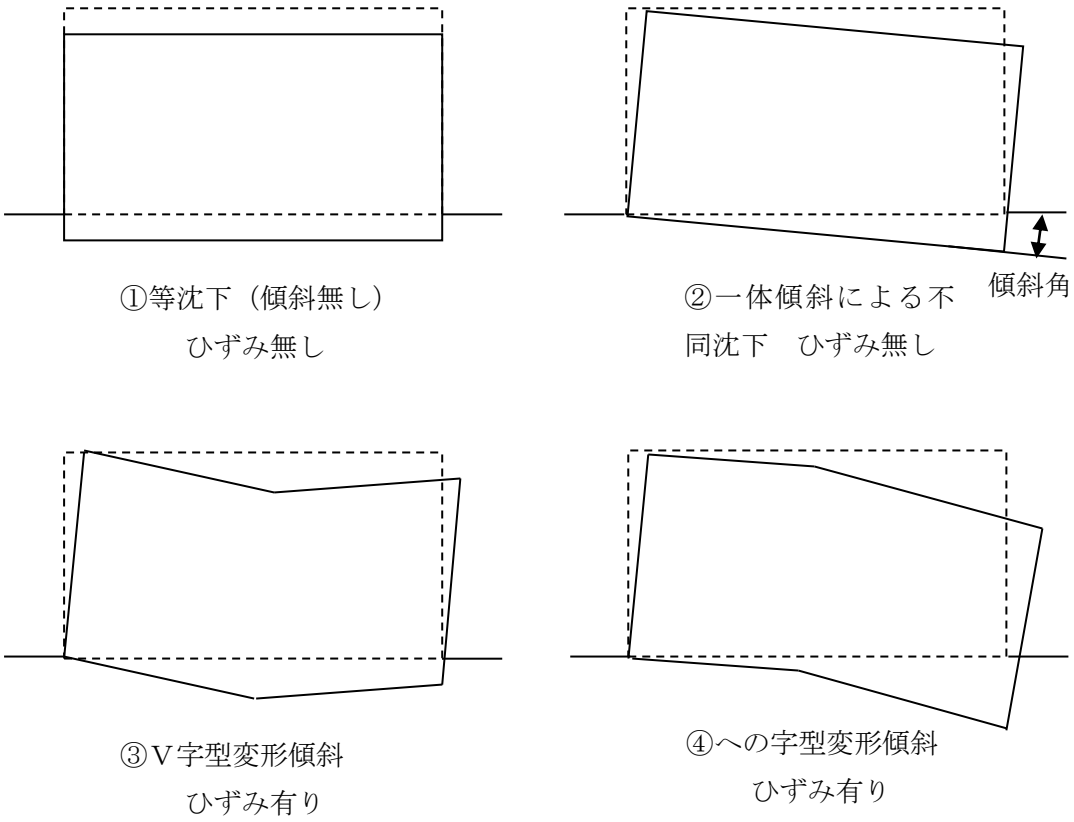


表 2【不同沈下の種別】

種類	症状等
一体傾斜	通常起こり得る沈下量では構造的な問題が生ずることは無く、「床や柱の傾斜、排水不良、開戸や引戸が自然に開閉する」など傾斜角の発生に関係する上部構造の使用性や機能性が問題になる
変形傾斜	ひび割れやその他の沈下障害のほとんどは変形傾斜の場合で、変形角の発生に伴う基礎及び上部構造のひび割れや変形などの構造力学上の問題とともに、傾斜角による使用性や機能性も同時に問題となる

（一体傾斜による不同沈下）

（布基礎に大きな損傷が発生した事例）

（擁壁付近で変形傾斜を起こした建物の基礎周辺）

◆不同沈下時の傾斜角についての指標

下記に、不同沈下が起きた際に、表面化又は人間の意識として感じる度合い、損傷度合いを表で示します。

表 3【傾斜角と機能的障害程度の関係】

区分	障害程度	傾斜角
1	品格法技術的基準レベル-1 相当	3/1000 以下
2	不具合が見られる	4/1000
2	不同沈下を意識する 水はけが悪くなる	5/1000
3	品格法技術的基準レベル-3 相当 不同沈下を強く意識し申し立てが急増する	6/1000
3	建具が自然に動くのが顕著に見られる	7/1000
4	ほとんどの建物で建具が自然に動く	8/1000
4	排水管の逆勾配	10/1000
5	生理的な限界値	17/1000

表 4【変形角 θ2 と損傷程度の関係】

区分	不同沈下の状況	変形角の限度
1	損傷が明らかでない範囲	2/1000 以下
2	建付と内外壁の損傷が 5 割を超え損傷発生が目立つ、内外壁の損傷は0.5mm程度、建付隙間3mm程度、木工仕口隙間2mm以下	2 超え～3/1000
3	損傷程度が著しくなる。基礎亀裂の拡大傾向が見られ、無筋基礎、内外壁の損傷が 0.5mm 程度、木工仕口隙間が 2mm を超える	3 超え～5/1000
4	多くの損傷発生が 5 割を超え顕著。有筋基礎でも多くの建物で 0.5mm を超える亀裂、内外壁の損傷は 1mm、建付隙間は 10mm を超え、木工仕口隙間 4mm 程度以上となる	5 超え～8/1000
5	損傷程度はさらに著しくなるが損傷発生率は頭打ち塑性的傾向を示す。有筋基礎でも 1mm 程度の亀裂、内外壁の損傷程度 2mm 程度、建付隙間 15mm 程度、木工仕口隙間 5mm 程度となる	8 超え～ 12/1000

表 5【小規模建築物の不同沈下障害と変形角（旧版）】

段階	不同沈下の状況	変形角の限度
初期段階	モルタル外壁・コンクリート犬走りに亀裂が生じる	1/1000※1
第 1 段階	つか立て床の不陸が生じ、布基礎や土間コンクリートに亀裂が入る	3/1000※2
第 2 段階	壁と柱の間に隙間が生じ、壁やタイルに亀裂が入る。窓・額縁や出入口枠の接合部に隙間が生じ、犬走りやブロック塀など外構物に被害が生じる	5/1000※2
第 3 段階	柱が傾き、建具の開閉が不良となる 床が傾斜して支障が生じる	10/1000※2
最終段階	柱の傾斜が著しく倒壊の危険がある 床の傾斜がひどく使用困難である	15/1000※2

※1 間片ほか：シールド掘削に伴う地盤沈下と家屋被害について；土と基礎、1980.6 による。

※2 芳賀保夫：木造建築の不同沈下障害（その 1）；日本建築学会大会学術講演梗概集、1987.10

上記表 5 は、社団法人日本建築学会が 1988 年 1 月に発行した小規模建築物基礎設計の手引き（小規模建築物基礎設計指針の旧版）に掲載されていたもので、同指針の改定版では一新され、表 3 及び表 4 に変更されていますが、表現が判りやすい部分もあるため参考の一つとして掲載しています。

4. 杭基礎における被災と基礎の変形角について

過去の震災においては、液状化地盤や傾斜地盤あるいは短杭などの場合を除けば、杭基礎が地盤の抵抗力の喪失によって被災する例はまれで、むしろ杭体の損傷による被災例が大半となっています。実際の被災例としては、不同沈下は起こさずに、液状化により建物と周囲の地盤との間に間隙が出来ると言った内容（下記写真）が大半を占めています。
しかしながら実際に、大きな地震等により杭体等に損傷があった場合には以下に記載したような症状が出ます。またこれらの症状が実際に生じた場合には建物に大きな損傷が生じている可能性があります。

（東日本大震災による液状化で出来た建物と地盤の段差：千葉県新浦安駅）

◆既製コンクリート径

過去の震災における既成コンクリート杭の破壊状況としては、杭頭付近におけるせん断破壊、圧壊あるいは PC 鋼材の破断とそれに伴う上部構造の不同沈下が生じている例が比較的多いと言えます。また、加力実験においては、圧縮側軸力に対して爆裂などの極めて脆性的な破壊性状を示す事があります。

◆PHC 杭

PHC 杭に関しては、高強度コンクリートにプレストレスを採用していますので、コンクリートのひび割れによる剛性低下が顕著であり、靭性も乏しい事から、「曲げひび割れ」、「せん断ひび割れ」とも許容する事は出来ません。

◆場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭の耐久性に支障のある限界ひび割れ幅としては、通常、鉄筋の被り厚が 60mm 以上とやや厚い事を前提として、日本建築学会では上部構造と同等の 0.2mm 程度が妥当とされています。但し、使用限界状態で許容するのは「曲げひび割れ」で、「せん断ひび割れ」は許容しないとしています。但し現実的には、上部構造と同じであるならば、0.3mm 未満のひび割れについては許容出来るとする考え方も採用できると考えます。

杭基礎における建築物については、押込み側の杭の沈下及び引抜き側の杭の浮き上がりによって基礎の変形角・傾斜角が生じる事に留意する必要があります。基礎の変形角は、上部構造の柱位置に対応する基礎間の相対変位量を基礎間の距離で除した値とします。

5. 不同沈下の確認方法

修復計画や沈下の有無を判断するには、現地で、不同沈下の計測を行なう必要があります。初期診断としては、レーザーレベル、気泡水準器、下げ振り、クラックスケール、差し金、馬鹿棒、水盛管等を使った非破壊検査が主流です。基礎の沈下が確認された場合には、地盤が原因である可能性が高いため、詳細な地盤調査を行なう必要があります。

不同沈下における建築物の不具合は、変形に伴う損傷と、傾斜による使用性や機能上の問題があるので、内部床の沈下傾斜測定が重要になります。基準点はどこでも基本的には構いませんが、出来れば建物内部を見渡せ、且つ、基礎に近く堅固な床面を基準にします。

外周の測定では水切り等を基準として、レーザーレベルで測定する場合には、レーザーレベルから発した赤外線を阻害するような障害物が無い位置で測定します。基礎天端から立ち上がりに逃げ墨を打って測定する方法もありますが、逃げ墨が建物外周壁に残ってしまいます。

また水切り等を基準点として計測する場合や建物の内部を測量する際には、そもそもの施工誤差やレーザーレベルの誤差、測量計測時の手振れ等による誤差が生じる事を予め念頭に置いた上で、調査を行なう必要があります。

（レーザーレベルを使用して不同沈下を調査している事例）

6. 基礎修復の判断と施工方法の検討

先述した「3. 不同沈下時の沈下形状と変形角について」の中の表 3~表 5 に記載した内容から傾斜角及び変形角の限界値は下記の表 6 のように考えられ、不同沈下が起こった際に沈下修正を必要とする目安は

①傾斜角　6~8/1000 以上

②変形角　5/1000 以上

と判断します。

表 6【小規模建築物の傾斜角と変形角の限界値】

沈下傾斜量	下限	標準	上限
傾斜角	4/1000	6~8/1000	―
変形角（θ_2）	3/1000	5/1000	8/1000

下限：一部（概ね 2 割程度）の建物で著しい不具合が生ずるレベル

標準：多くの（5 割を超える程度）の建物で著しい不具合が生じるレベル

上限：大部分の（概ね 7 割程度）の建物で著しい不具合が生ずるレベル

小規模建築物基礎設計指針における基礎の計画においては、下記表 7 のように標準レベルの 1/2 程度を設計目標値としていますが、この指針は新築を計画した場合に求められる設計目標値である事から、既存建物で実際に被災した建物にそのままこの目標値を使う事は必ずしも現実的な対応方法では無いと考えます。

もともとの施工上の許容範囲内の誤差もあり、また沈下修正には多額の費用が発生することから、現実的な選択肢としては、まず、建物の安全性が確保されている事を前提条件とした上で、上記範囲の下限内に傾斜角及び変形角が収まっており、居住者の心理と健康状態、建物所有者の予算、などと言った内容を総合的に判断して、許容出来る範囲であれば、「基礎躯体の修復工事のみで終わらせる。」又は「沈下修正工事は最小限の範囲内で留める。」等の選択肢もあると考えます。

表 7【不同沈下の設計目標値の参考値】

不同沈下	設計目標値
傾斜角	3/1000 以下
変形角	2.5/1000 以下

いずれにしろ、沈下修復の要否の判断は基礎の損傷状況と構造耐力、上部構造の仕口部の変形や隙間、内外装の損傷の程度、建具の建付けや開閉などの不具合程度及び建具の変形や動き、床の傾斜など、沈下の計測結果ばかりではなく、不具合事象の程度などを勘案のうえ、総合的に検討して判断する必要があります。

7. 物件の調査事例

下記に、基礎及び地盤等についての調査報告書の記載事例を紹介します。これらの記載事例は数ある耐震診断書の中のほんの一例ですので、あくまでも参考としてお使いください。

①現地調査による診断書の一例

（要旨）
東日本大震災により、布基礎部分を中心に 10mm を超えるひび割れが複数存在しています。不同沈下の症状としてはＶ字型変形傾斜を起こしており、最大沈下地点周辺並びにひび割れが集中的に発生している杭基礎周辺部の詳細な地盤調査を行なうと共に、PC 杭が破損又は損傷を受けていないかについても確認する必要があります。

記入欄の該当する箇所に○を付けます。また、施されている対策等があればそれらを記載してください。

地　盤	施されている対策	記入欄
良い		
普通	べた基礎である	
	布基礎である	
悪い （埋立地・盛土・軟弱地盤）	地盤改良工事を行なっている※1	
	杭基礎である※2	○
	併用基礎である※2	
	特別な対策を行なっていない	

※1　但し、地盤が悪いため、建物を大きく揺らせるような揺れ方をする場合や地盤改良部分以外（周辺並びに深層部）で液状化が発生する可能性があります。

※2　但し、表層の地盤が悪いため、建物を大きく揺らせるような揺れ方をする場合や地盤が液状化する可能性があります。

※3　地盤が悪いため、建物を大きく揺らせるような揺れ方をする場合や地盤が液状化する可能性があり、建物が不同沈下等を起こす確率が高いと言えます。

地　形	施されている対策	記入欄
平坦・普通		○
崖地・急斜面	コンクリート擁壁※1	
	石積※2	
	特別な対策を行なっている※3	
その他所見	当該地は西側敷地境界部分に 600mm 程度の段差があり、コンクリート擁壁になっています。周辺地形を見る限り当該地は盛土の可能性が高く、また地震により当該地の土圧が変化した可能性があります。	

※1　但し、擁壁が崩れると、建物直下の地盤が崩壊したり、崩れた土砂が建物を押し出す可能性があります。コンクリート擁壁に亀裂が入った場合には補修が必要です。

※2　但し、擁壁が崩れると、建物直下の地盤が崩壊したり、崩れた土砂が建物を押し出す可能性があります。石積みが崩れたり、はらみだした場合は補修が必要です。

※3　擁壁が崩れると、建物直下の地盤が崩壊したり、崩れた土砂が建物を押し出す可能性があります。コンクリート擁壁を設置する必要があります。

基礎形式	状態	記入欄
鉄筋コンクリート基礎	健全	
	ひび割れが生じている	
	大きな亀裂や破壊が生じている	○
無筋コンクリート基礎	健全	
	ひび割れが生じている	
	大きな亀裂や破壊が生じている	
玉石基礎	足固め有り	
	足固め無し	
その他の基礎（ブロック基礎等）		
その他の仕様	基礎伏図で見ると柱部分の布基礎の下に 300φで長さ 7m の PC 杭がプレボーリング打撃工法によって打設されています。杭の本数は 12 本です。	
所見	地震の影響で、基礎に亀裂幅が 10mm を超えるひび割れが複数生じています。不同沈下形状は V 字型であり、8 本ある柱付近ほぼ全てに大小を含めて複数の亀裂が入っており、地震の揺れに布基礎部分が耐えられずに破損したものと思われます。V 字型変形傾斜の最も深い部分の沈下量はマイナス 80mm となっており、変形角としては 8/1000 を超えています。これらを考慮して最も沈下している部分と、杭打設付近の地盤の詳細調査を行なうと共に杭体に破損又は損傷が無いかを調査する必要があります。	

②地盤に関する診断書の報告事例

（要旨） 本物件の地盤は「建設省令告示 1793 号　第 3 種地盤」に該当する可能性が高いと判断されます。

下表のチェック項目にチェックを入れてください。またその他所見があれば、その内容を記載してください。

チェック項目	内容
☑有る・□無し	図面の有無。
□有る・☑無し	地盤調査のデータ、土質サンプル等の有無。
☑該当・□不明	ハザードマップで軟弱地盤の地域になっている。
□該当・☑不明	敷地が傾斜地で、敷地内に盛土、切土部分がある。
☑該当・□不明	付近は液状化の可能性があると言われている地域である。
□該当・☑不明	田畑の造成地で、造成後 5 年以内である。
□該当・☑不明	河川・湖・池などの埋立地である。
□該当・☑不明	SWS 試験等で、地耐力 30kN/㎡以下の層が 3m 以上ある。
□該当・☑該当無し	建物周囲に、1.5m 以上の擁壁がある。
☑（その他所見）	本物件の基礎形式は PC 杭を使用したパイルドラフト基礎と推定されます。また、仙台市ハザードマップにおいても、「液状化」「揺れ」が激しい地域に指定されています。 またオーナーからのヒアリングにおきましても、以前当該地は水田だったとの話があり、これらを総合的に判断すると当該地は第三種地盤である可能性が高いと推定されます。

③基礎に関する診断書の報告事例

◆基本事項

基本図面の有無※	有る　・　無い
構造図等の詳細図面の有無	有る　・　無い
地盤調査の詳細データの有無	有る　・　無い

（要旨）
大地震が発生した際には、当該地は建物に何らかの障害が生じる可能性が高い状況の地盤であり、超巨大地震であった東日本大震災の震源地に近い当該地では、建築基準法等の条件を満たし、当時の建築技術の範囲内において適切に工事が行なわれた基礎であっても何らかの被害が生じる事はやむを得ない状況であったと判断します。本物件の布基礎は激しい損傷個所においては 15mm 以上の基礎のひび割れが発生しており、10mm 程度、又はコンクリートの欠損は複数個所に生じており、損傷個所周辺の詳細な地盤調査等を行なう必要があると判断します。

基礎の評価は地盤と基礎の組み合わせに応じて、下表に該当するものに〇を付け、該当する評価を報告します。

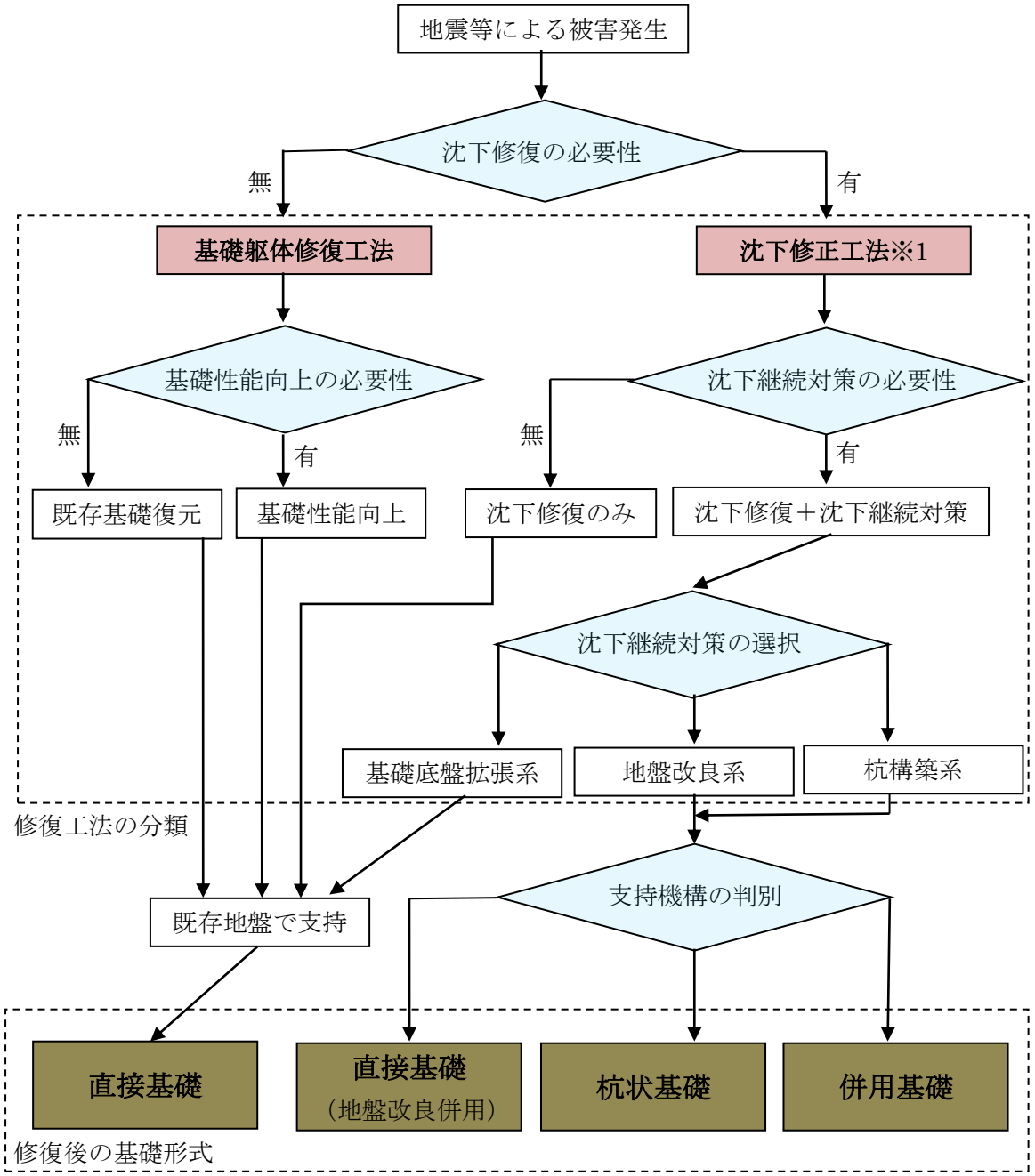
地盤の種類	杭基礎・布基礎・べた基礎		玉石・石積み・ブロック基礎など
	有筋	無筋	
良い・普通の地盤	安全である。	ひび割れが入る恐れがある。	玉石などが移動したり、傾く可能性がある。
やや悪い地盤	ひび割れが入る恐れがある。	亀裂が入る恐れがある。	玉石などが移動したり、傾く可能性がある。
非常に悪い地盤	ひび割れが入る恐れがある。住宅が傾く可能性がある。	大きな亀裂が入る恐れがある。住宅が傾く可能性がある。	玉石などが移動したり、不陸が生じる。住宅が傾く可能性がある。

※既存物件の耐震診断をする場合には簡易診断であれ、精密診断であれ、図面や地盤調査資料が有る事が前提条件となります。これらの図面等が無いと、正確な耐震診断を行なう事は出来ません。
しかし、実際には築年数が経過していたり、所有者が何度も交代している場合などは、基本図面（意匠図）さえも無い物件が数多く存在する事も事実です。これらの場合には、実際の建物の作りを見て、設計図を作成し直す必要が出てくる場合や、地盤の再調査を行なう必要が出てくるケースもあり、調査費用が高額になるケースもあります。また、あくまでも推定でしか現況を把握する事が出来ず、限られた工法しか選択できないというケースも生じる可能性があります。

8. 基礎修復工法の種類と選定基準

基礎の修復は修復目的により、基礎躯体修復工法と沈下修正工法に大別されます。沈下修復を必要とするか否かの判断が修復方法選定の大きな要因となり、工事金額も大幅に変わってきます。また、沈下継続対策が必要な場合はその対策方法によっては、修復後に基礎形式が変更となる場合などがあり、詳細な検討を必要とします。

図 2【基礎修復工法選定手順】



※1　基礎部分に損傷がある場合には基礎躯体修復工法を併用する

9. 基礎躯体修復工法

沈下を伴わない、または沈下修正を必要としない場合は基礎の劣化防止並びに耐久性向上を目的として、損傷状況に応じて修復工法を選定します。

ひび割れ部分に対してはエポキシ樹脂の注入工法や U カット充填工法がポピュラーで、現場での施工性が高ければ十分な強度と基礎の劣化を確保出来ます。

欠損や爆裂などの損傷個所が面的で大きい場合には、樹脂モルタルの充填工法が用いられます。鉄筋のかぶり厚不足や乾燥収縮などの微細なひび割れには、樹脂モルタルやポリマーセメントを塗布する工法が一般的に用いられます。

基礎の剛性不足による損傷や不同沈下が発生している場合には、損傷個所を修復するだけでなく、基礎性能も向上させる必要があります。抜本的な対策は、曳き家により建物を移動させ、適正な形式・形状に基礎を再施工又は新築に建て直すことがベストと言えますが、工期、費用、入居問題等もあり現実的とは言えません。

範囲が部分的であれば、増打ち工法や鉄骨添え梁工法などにより断面剛性を向上させることが出来ます。最近注目されている工法としてはアラミド繊維や炭素繊維複合材などを貼り付ける工法もあります。

基礎底盤の拡張や布基礎からべた基礎への形式変更などのように設置圧を減少させる方法は、支持力不足で沈下の継続性がある場合には効果が期待されます。

表８【基礎躯体修復工法の種類と分類例】

分類	工法	概要	区分	修復目的
損傷補修	樹脂注入工法	専用器具によるひび割れ部へのエポキシ樹脂注入。幅1mm程度以下で挙動の少ない場合に適用する。	既存基礎復元	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止）
	Uカット充填工法	ひび割れ部をU字型にカットしてシール材を充填、幅2mm程度以上の挙動性のある場所に適用する。	既存基礎復元	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止）
	シール工法	ひび割れに沿ってシール材を塗布。幅0.2mm以下に適用する。	既存基礎復元	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止）
	充填工法	欠損部にエポキシ樹脂モルタル又はポリマーセメントモルタルなどを充填。比較的大きな欠損に適用する	既存基礎復元	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止）
躯体再施工※1	躯体再施工	既存基礎を解体後、新設する（上部躯体ジャッキアップを併用する）。	既存基礎復元 基礎性能向上 基礎底盤拡張系	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止） 基礎性能の向上（断面剛性・靭性向上）
	打直し工法	損傷部分を部分的に解体打直しを行なう。大きな欠損に適用する。	既存基礎復元	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止）
躯体補強	増打ち工法	ひび割れや欠損、爆裂などの損傷及び耐力不足に対して基礎側面に断面寸法を増やす形で増打ちして補強する。	基礎性能向上	基礎性能の向上（断面剛性・靭性向上）
	鉄骨添え梁補強	剛性の向上を目的に基礎側面に鉄骨添え梁を設置する。	基礎性能向上	基礎性能の向上（断面剛性・靭性向上）
	アラミド繊維補強	アラミド繊維などの貼付けによる基礎梁の靭性向上を目的とする。	基礎性能向上	基礎の劣化防止・耐久性向上（鉄筋発錆防止） 基礎性能の向上（断面剛性・靭性向上）
底盤拡張※1	布基礎底盤拡張	設置面積の増大による設置圧の減少を図る。全ての底盤を一体化してべた基礎とする場合もある。	基礎底盤拡張系	基礎性能の向上（断面剛性・靭性向上）

※1　基礎の再施工や底版拡張工法は、荷重の増大や応力の伝達深さが深くなる場合があるので、現在の支持基盤よりも下部の地盤条件も考慮して沈下の検討を行なう。

（参考資料）
以下に財団法人日本建築防災協会からも木造住宅における基礎の分類と補修・補強が公表されていますので参考資料として掲載します。

表 9【一般診断における被害状況の注意事項と補修・補強内容】

基礎の分類	注意事項	補修・補強内容
鉄筋コンクリート造	ひび割れが発生している場合、内部の鉄筋が錆びて、爆裂する可能性があり、補修が必要。	・U カットシール材充填工法によりクラック補修を行なう。 ・充填工法（エポキシモルタルまたはポリマーセメント）により欠損部補修を行なう。
	不同沈下している	地盤改良などの改善をはかる必要がある。
無筋コンクリート造（昭和 46 年以前）※1	アンカーボルト、引抜金物が十分な性能を発揮できない場合がある。そのような場所には補強が必要。	・地震時に基礎に曲げクラックが発生し、付着強度の低下したアンカーボルトが抜け出す恐れがある。鉄筋コンクリート造基礎に作り変えるか、鉄筋コンクリート造基礎を抱き合わせる。 ・ひび割れ補修、欠損部補修は上記と同様に行なう。
	不同沈下している	地盤改良などの改善をはかる必要がある。
玉石・石積・ブロック	建物との一体性が弱い場合、基礎を外して建物がバラバラになる可能性がある。足固めを設置するなど、建物が一体で動くような工夫をする必要がある。	・柱脚間に接合材を設け一体化させる。 ・玉石等が移動しないようコンクリート低盤を打設する。 ・鉄筋コンクリート造基礎に作り変える。

※木造住宅の建築基準法構造規定において 1971 年（昭和 46 年）に布基礎コンクリートの有筋化が義務付けられています。1981 年（昭和 56 年）構造用合板や石膏ボード等の面材を張った壁の追加・軸組の種類・倍率の改定、2000 年（平成 12 年）に地耐力に応じた基礎の特定、地盤調査の義務化、継ぎ手・仕口の特定、耐力壁配位置のバランス計算、限界耐力計算の導入が開始されました。

表 10【既存基礎補強後の評価等】

<table>
<tr><th colspan="2">既存基礎形状</th><th>補強方法</th><th>補強後の評価</th></tr>
<tr><td colspan="2">鉄筋コンクリート造</td><td>不要</td><td>鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td colspan="2">ひび割れのある鉄筋コンクリート造</td><td>ひび割れ補修</td><td>鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">無筋コンクリート造</td><td>既存基礎撤去後、鉄筋コンクリート造基礎新設</td><td rowspan="2">鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td>鉄筋コンクリート基礎増打ち</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">ひび割れのある無筋コンクリート造</td><td>既存基礎撤去後、鉄筋コンクリート造基礎新設</td><td rowspan="3">鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td>ひび割れ補修後、鉄筋コンクリート造基礎新設</td></tr>
<tr><td>ひび割れ補修</td></tr>
<tr><td rowspan="5">玉石
石積
ブロック</td><td rowspan="2">足固めあり
1 階床補強</td><td>既存基礎撤去後、鉄筋コンクリート造基礎新設</td><td rowspan="2">鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td>鉄筋コンクリート造底盤設置</td></tr>
<tr><td rowspan="3">足固めなし</td><td>鉄筋コンクリート造基礎新設</td><td rowspan="2">鉄筋コンクリート造</td></tr>
<tr><td>足固め後、鉄筋コンクリート造低盤設置</td></tr>
<tr><td>足固め</td><td>その他（足固めあり）</td></tr>
</table>

出典：木造住宅の耐震診断と補強方法（財団法人日本建築防災協会）

表 11【一般新診断法、精密診断法における基礎の健全度の分類】

健全度の分類	仕様と健全度の説明
基礎Ⅰ	健全な鉄筋コンクリート造布基礎またはべた基礎。
基礎Ⅱ	ひび割れのある鉄筋コンクリート造の布基礎又は、べた基礎 無筋コンクリート造の布基礎 柱脚に足固めを設けた玉石基礎
基礎Ⅲ	その他の基礎

出典：木造住宅の耐震診断と補強方法（財団法人日本建築防災協会）

10. 沈下修復工法

沈下修復が必要と判断された場合、沈下原因から継続性の有無を判断して目的に応じた沈下修復工法を選定する必要があります。

沈下修復工法は主にジャッキアップ時の反力確保が課題となるので沈下の継続対応策と反力確保を総合的に判断する必要があります。また、ジャッキアップなどに伴い発生する損傷にも留意する必要があります。即時的な不同沈下を除けば、沈下は継続性がある場合も多く、選択を誤ると再沈下が生ずる可能性もあるので慎重な検討が必要になります。

基礎に損傷がある場合には、基礎躯体修復工法も同時に必要となりますが、これらの場合の多くは、基礎剛性、支持力に不足が生じている場合があるため、損傷修復と共に基礎性能の向上を目的とした工法と併せて工法を選択する必要があります。

土台から上の沈下修復は通常、既存地盤をそのまま利用しますが、基礎下への薬液注入や底盤拡張などを併用しないと再沈下の可能性が残る場合があるので注意が必要です。

通常既存のアンカーボルトを再利用する場合は土台を欠き込む必要があるため沈下修復は40mm 程度が限界です。これ以上の場合には、既存基礎を斫って、アンカーボルトを交換する必要があるため、解体再施工となるのが一般的です。

基礎下からの沈下修復は、建築物周囲から基礎下を順次掘削して基礎底盤下に油圧ジャッキを設置してアップする工法が一般的で、耐圧盤工法、鋼管圧入工法、ブロック圧入方法などがあります。

注入工法は建築物周囲から基礎下部へ薬液やグラウトを注入し、注入圧により沈下修復を行なう工法です。注入工法は掘削が不要で工期が安く、他の工法と比較して安価であり、グラウド材の圧入による周辺地盤の締め固めや薬液による地盤改良効果が得られるなどの多くのメリットがありますが、修正量のコントロールが難しいために、現段階では課題も多い工法と言えます。

表 12【沈下修正工法の種類と分類例】

分類	工法	概要	反力	継続対策	区分
土台から嵩上げ※1	根がらみ工法	床及び内外壁の一部を解体して鋼材などの根がらみ材を土台下又は柱に固定してジャッキアップする。主に基礎を再施工する場合に用いられる（在来揚屋）。	既存地盤	不適	沈下修復のみ
	ポイントジャッキ工法	基礎を一部斫り土台下に爪付ジャッキを挿入してジャッキアップする。補強などを行ない既存基礎を再使用する場合が多い。	既存地盤	不適	沈下修復のみ
基礎から嵩上げ	耐圧盤工法※2	基礎下を順次掘削して借受けとと打設を繰り返して良質な地盤面に一体の耐圧版を構築し、耐圧版を反力にジャッキアップする。	底盤拡張による設置圧減少 良好地盤への深礎下	不確定要素があるが効果的	沈下修復のみ
	鋼管圧入工法※2、3、4	基礎下を掘削して建物荷重により1m程度の鋼管杭を継ぎ足しながらジャッキで圧入する。支持層まで貫入後、これを反力にジャッキアップする。	支持杭 地盤貫入物による週面摩擦及び圧密化	効果的	地盤改良系 杭構築系
	ブロック圧入工法	基礎下を掘削し建物荷重により既製コンクリートブロックをジャッキで圧入する。圧入により地盤を締め固める摩擦抵抗を反力にジャッキアップする。	支持杭 地盤貫入物による週面摩擦及び圧密化	効果的	地盤改良系
	薬液等注入工法※3	基礎下へグラウドや薬液などを注入し、注入・膨張圧によりアップする。	地盤改良効果	不確定要素があるが効果的	地盤改良系

※1　根がらみ工法とポイントジャッキ工法は上部構造が切り離し可能な構造に限る。

※2　基礎下からジャッキアップする方法で基礎下を掘削する場合、地下水位が高いと周囲への影響が生ずる場合もあり、補助工事の採用なしでは施工できない場合もある。また、地質によっては掘削期間が大きく異なり、場合によっては不可能な地盤もある。

※3　地盤条件は、鋼管圧入工法や薬液注入工法では杭長や薬液量を決める重要な要因となるので、工法選定前に、支持地盤の深度のほかにも粒度や含水比などの土質性状がわかる地盤資料が必要。無い場合には改めて地盤調査を行なう。

※4　圧入鋼管は接合部が多くなるので、杭耐力を低減させないように継ぎ手の溶接方法や抗体の鉛直性などについても確実な管理が必要となる。

11. 施工業者の選定方法

建設業者を選定する場合には、信頼のおける地元業者又は営業所や支店を当該地域に構える業者を選定すべきです。東京にしか事業所が無い施工業者の場合には、耐震改修後に何らかの不具合が生じた場合に、迅速な対応をしてくれないケースが想定される為です。

耐震診断を無料で行なう施工業者がいますが、最終的には耐震改修工事にその費用は一般経費として工事費用に上乗せされる事になります。また、自社の得意とする工法へ誘導する診断を行なう場合もありますので注意が必要です。

複数の業者から見積もりを取る事もあまりお勧めできません。多くても 3 社以内にするべきです。5 社以上の見積もりの場合には見積もり内容を精査するだけで大変な労力となりますし、多くの業者に声をかけた場合には、逆に業者から見積を辞退される場合もあります。

まずは、分譲マンションであれば管理会社、収益物件であれば管理会社と相談の上、元施工の会社、選択した耐震改修工法が施工可能な会社などを 2 社程度をピックアップしたうえで、業者の本社や営業所等を見学し、社員の言動等も見ておくことが重要です。

また、施工の際には責任施工で工事を行なわせることが重要と言えます。工事施工後に追加工事が発生したとして多額の費用を請求してくる業者もおりますので注意が必要です。信頼のおける施工業者であればむしろ設計施工で依頼した方が良いケースがあります。

以上

参考文献等

建築基礎構造設計指針（社団法人日本建築学会）
小規模建築物基礎設計指針（社団法人日本建築学会）
木造住宅の耐震診断と補強方法（財団法人日本建築防災協会）
耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説
（発行：財団法人日本建築防災協会）
特殊建築物等調査資格者講習テキスト（財団法人日本建築防災協会）
建物診断（発行：建物のロングライフを考える会）
木造耐震診断（建築知識）
木造住宅耐震診断・改修コンプリートガイド（株式会社エクスナレッジ）
マンション管理士法定講習テキスト（財団法人マンション管理センター）